Über eine kosmische Anziehung, welche die Sonne durch ihre Strahlen ausübt.

Von **Carl Puschl,**
Capitular des Benedictiner-Stiftes Seitenstetten.

Einleitung.

Die Erde empfängt durch die Strahlen der Sonne jährlich eine gewisse Wärmemenge, welche die Quelle fast aller auf der Oberfläche unseres Planeten vor sich gehenden Veränderungen und somit auch der dieselben nach unserer Vorstellung zunächst bewirkenden Kräfte ist. Es kann kein Zweifel sein, daß dasjenige, was die Sonnenstrahlen zur Erde bringen, in einer gewissen Bewegung besteht, welche von der Sonne aus durch einen Stoff im Weltraume nach allen Richtungen fortgeführt, endlich auch die Erde ergreift, und daß die der Erde so mitgetheilte Wärmemenge nichts anderes ist, als die lebendige Kraft der dadurch in den Körpern ihrer Oberfläche erzeugten Bewegung. Jede Summe lebendiger Kräfte aber ist das Äquivalent einer mechanischen Arbeit, d. h. sie vermag einen gewissen Druck oder Widerstand eine Strecke weit fortzuschieben oder ein Gewicht auf eine gewisse Höhe zu heben; es kann daher die Erwärmung der Erde durch die Sonne auch als eine von deren Strahlen an der Erdoberfläche gethane Arbeit aufgefaßt werden, und da das Arbeitsäquivalent der gewöhnlichen Wärmeeinheit ohnehin experimentell festgestellt ist, kann man aus dem Betrage der der Erde auf eine normal getroffene Fläche zugesandten Wärmemenge die Größe der mechanischen Arbeit finden, welche von der durch jene Fläche eingefallenen Strahlenmenge verrichtet, d. h. welcher Widerstand durch diese Strahlenmenge um eine gewisse Strecke fortbewegt oder welches Gewicht durch dieselbe auf eine gewisse Höhe gehoben werden könnte.

Bezeichnen wir nun die mechanische Arbeit, welche ein Strahlenbündel von 1 Quadratmeter Querschnitt während 1 Secunde bei völligem Verbrauch als ihr Äquivalent leistet, also auch die lebendige Kraftsumme des in jener Zeit zur Wirkung gekommenen Strahlenquantums, mit L, so können wir dieselbe allerdings jedesmal durch ein Product zweier Factoren ausdrücken, nämlich durch das Product einer widerstehenden Kraft (etwa eines Druckes) $= P$ Kilogramme mit einem Wege $= S$ Meter, um welchen jener Widerstand fortgeschoben oder gezogen werden könnte, d. h. wir können setzen

$$L = PS;$$

allein man sieht, daß hiedurch, weil wir einen der beiden Factoren beliebig wählen können, für die Kenntniß der wirklichen (absoluten) Intensität des Angriffes an einer bestimmten widerstehenden Fläche nichts gewonnen ist, indem es z. B. für die Größe der Arbeit L ganz einerlei ist, ob sie durch eine bewegende Kraft P auf dem Wege S oder durch eine bewegende Kraft S auf dem Wege P gethan wird. Die Intensität einer bewegenden oder arbeitenden Kraft kann also aus der Größe ihrer Leistung allein nicht erschlossen und folglich aus der von einem Sonnenstrahle in der Zeit 1 in einem Körper erzeugten Wärmemenge allein die Frage, welche bewegende Kraft ein solcher Strahl auf eine seinem Querschnitte gleiche Angriffsfläche ausübt, nicht gelöst werden; es wäre ohne weiteren Anhaltspunkt die Messung der Intensität der Sonnenstrahlen mit absolutem Maße (die Angabe ihrer Kraft in Kilogrammen auf 1 Quadratmeter Angriffsfläche) eine unausführbare theoretische Forderung.

Die vorhin beigefügte Bestimmung, wonach der gedachte Strahl die Arbeitsgröße L oder die äquivalente Wärmemenge in 1 Secunde liefert, macht es übrigens allsogleich klar, welche weitere Prämisse wir für unseren Zweck der physikalischen Erfahrung noch werden entnehmen müssen. In 1 Secunde nämlich kommt an einer gegebenen Angriffsfläche ein Strahlenbündel zur Wirkung, dessen Länge dem Wege gleich ist, welchen die Strahlen während jener Zeit im Raume zurücklegen, und es muß daher die am Ende der Secunde eingefallene Kraftsumme am Anfange derselben in einem Bündel enthalten gewesen sein, dessen Querschnitt die Angriffsfläche und dessen Länge der vom Lichte in 1 Secunde zurückgelegte Weg ist. Mit

Hilfe der zwei genannten Beobachtungsdaten — der auf 1 Quadratmeter Querschnitt in 1 Secunde einfallenden Wärmemenge und der Geschwindigkeit des Lichtes — hat es dann in der That keine Schwierigkeit, die Intensität der bezüglichen Strahlen in absolutem Maße auszudrücken.

Intensität der Sonnenstrahlen nach der Emanationshypothese; ihre bewegende Kraft ist ein Druck.

Da nach dem Gesagten die Intensität der Sonnenstrahlen durch zwei rein empirisch zu erlangende Werthe bestimmt ist und nichts darauf ankommen kann, welche Art von Bewegung in einem Strahle wirklich herrscht und in welcher Form sie auf getroffene Körper übertragen wird, wollen wir beispielsweise zuerst die Vorstellung Newton's von der Natur des Lichtes adoptiren. Ein Sonnenstrahl besteht dann aus sehr kleinen von der Sonne aus geradlinig fortfliegenden Stofftheilchen, welche, wenn sie auf einen Körper treffen, eben so viele Stöße auf die widerstehenden Flächenstücke desselben ausüben müssen.

Die vereinigte Wirkung der so in jedem meßbaren Zeitabschnitte erfolgenden unzähligen Stöße auf ein getroffenes Flächenstück wird dieses in ihrer Richtung fortzubewegen suchen und somit auch einem gewissen, auf der Gegenseite auf dasselbe ausgeübten Drucke das Gleichgewicht zu halten im Stande sein, d. h. man kann die vereinigte Wirkung jener Stöße selbst als einen in ihrer Richtung ausgeübten Druck betrachten, — eine Vorstellung, wie sie ohnehin durch jene bekannte Theorie, welche den Druck der Gase auf eine feste Wand aus den von den hin- und herfliegenden Gasatomen auf selbe ausgeübten Stößen erklärt, in jüngster Zeit allgemein geläufig geworden ist. Da in diesem Falle die ganze Arbeitskraft der einfallenden Theilchen in der Wirkung der vollführten Stöße besteht und also nur in einer einzigen Richtung verwendet wird, so macht die bewegende Kraft dieser Stöße, oder der ihr entsprechende Druck, auch schon die ganze angreifende Kraft des einfallenden Strahles, d. h. seine Intensität aus. Demnach ist in der Sprache der Emanationshypothese die Intensität der Sonnenstrahlen dem von den fortfliegenden Stofftheilchen auf die normal getroffene Flächeneinheit ausgeübten Drucke gleich.

Um für diesen Druck die entsprechende Formel zu finden, denken wir uns, daß zwischen zwei einander parallel gegenüber gestellten, die Sonnenstrahlen vollständig reflectirenden Wänden solche Strahlen fortwährend hin- und herfliegen, indem jede Wand die von der anderen herkommenden Strahlen stets in derselben Richtung wieder zurückwerfe. Nennen wir die Masse eines fliegenden Theilchens m und seine Geschwindigkeit c, so ist die Bewegungsgröße, die es besitzt und daher im Sinne seiner Fortbewegung auch übertragen kann, $= mc$. Der Abstand der beiden Wände sei s; dann ist $\frac{2s}{c}$ die Zeit, welche ein Theilchen braucht, um wieder zu derselben Wand zurückzukehren, und $\frac{c}{2s}$ die Zahl der von einem bestimmten Theilchen in einer Secunde auf eine Wand ausgeübten Stöße; folglich überträgt dasselbe in einer Secunde auf eine Wand in gleicher Richtung eine Bewegungsgröße

$$= \frac{c}{2s} \quad mc = \frac{mc^2}{2s},$$

und wenn in dem hin- und hergeworfenen Strahlenbündel n solche Theilchen vorhanden sind, übertragen sie also auf eine Wand in einer Secunde in gleichem Sinne die Bewegungsgröße

$$\frac{nmc^2}{2s},$$

wobei die Wand jedoch, weil sie auf die einfallenden Theilchen nach Verlust ihrer Bewegungskraft jedesmal wieder eine gleiche Geschwindigkeit in entgegengesetzter Richtung übertragen soll, die hierzu nöthige Bewegungsgröße

$$= \frac{nmc^2}{2s}$$

in derselben Zeit auch von der Gegenseite her empfangen muß. Die Wand bleibt dann natürlich selbst in Ruhe und hält einen den beiderseits auf sie ausgeübten Bewegungskräften entsprechenden, in beiden Richtungen gleich starken Druck aus. Nun ist aber die Bewegungsgröße, welche eine constant wirkende Kraft (ein Druck oder ein Zug) in der Zeiteinheit in ihrer Richtung ungehindert erzeugen

würde, auch der Ausdruck für die Größe dieser Kraft selbst; in unserem Falle erfährt demnach jede Wand auf ihren beiden Seiten und namentlich auf der Seite der einfallenden Strahlen einen Druck [1])

$$p = \frac{nmc^2}{2s}.$$

Ist die getroffene Fläche jeder Wand 1 Quadratmeter, so ist p zugleich der Druck auf die Flächeneinheit und somit die Intensität der betrachteten Strahlen; der Spielraum dieser Strahlen beträgt dann s Kubikmeter, und $\frac{nmc^2}{2}$ ist die Summe der in diesem Raume

---

[1]) Nach Clausius (Abhandlungen über die mechanische Wärmetheorie II, 250) wäre im gleichen Falle der Druck doppelt so groß, nämlich

$$p = \frac{nmc^2}{s}.$$

Obwohl der dortigen Schlußweise, wonach eine Masse m mit der Geschwindigkeit c auf eine normal getroffene Wand eine Stoßkraft $= 2mc$ ausüben soll, andere Physiker und insbesondere die Anhänger der herrschenden Gastheorie beistimmen (so namentlich Stefan im Bande XLVII der Sitzungsberichte der k. Akademie der Wissenschaften 1863), glaube ich doch meine Ansicht bis auf Weiteres aufrecht halten zu müssen. Dieser zufolge kann eine mit der Geschwindigkeit c fortfliegende Masse m auf einen in ihrer Bewegungsrichtung getroffenen Körper in keinem Falle eine größere bewegende Kraft ausüben oder übertragen, als mc; sie muß eben, weil dann mc ihre ganze bewegende Kraft ausmacht, nach völliger Abgabe derselben bereits unfähig sein, noch irgend eine weitere bewegende Kraft auszuüben, also auch unfähig, etwa eine Kraft $= mc$ in der nämlichen Richtung noch einmal auszuüben und überdies noch mit einer Kraft $= mc$ in der entgegengesetzten Richtung wieder zurückzufliegen. Sie kann allerdings nach Verlust ihrer anfänglichen Bewegungskraft mit gleicher Geschwindigkeit c in entgegengesetzter Richtung zurückfliegen, nicht aus eigener Kraft, sondern selbstverständlich nur, wenn ihr ein genau gleicher Stoß, wie sie selbst ausübte, nun von außen her im entgegengesetzten Sinne, nämlich von der Gegenseite her, beigebracht wird. Die Masse m hat dann erstens eine Kraft $= mc$ in ihrer ursprünglichen Bewegungsrichtung nach außen abgegeben und zweitens eine Kraft $= mc$ in entgegengesetzter Richtung von außen aufgenommen; mit dieser zurückfliegend, hat sie demnach in ihrer ursprünglichen Bewegungsrichtung immer nur eine Kraft $= mc$ entwickelt. Zwei Stöße, jeder $= mc$, sind dabei wirklich vorgekommen, aber sie wurden nach entgegengesetzten Richtungen ausgeübt, und wenn der unmittelbare Angriffsort dieser zwei Stöße eine bewegliche Wand ist, erfährt und überträgt dieselbe also, in Ruhe bleibend, nach jeder Seite eine Kraft $= mc$, nicht aber (wie die Gegner annehmen) nach jeder Seite eine Kraft $= 2mc$.

vorhandenen lebendigen Kräfte. Man sieht also, daß der Ausdruck für die Intensität einer zwischen zwei Wänden hin- und hergeworfenen Strahlenmenge kein anderer ist, als der Ausdruck für deren Dichte, nämlich das Verhältniß jener Strahlenmenge zum Volumen des sie enthaltenden Bündels.

Machen wir den Abstand der beiden Wände dem vom Lichte in einer Secunde zurückgelegten Weg gleich und daher, wenn die Lichtgeschwindigkeit $\varkappa$ ist,

$$s = \varkappa,$$

so haben wir

$$p = \frac{nmc^2}{2\varkappa},$$

oder, weil nach der Hypothese $c = \varkappa$ sein muß,

$$p = \frac{nm\varkappa^2}{2\varkappa}.$$

Jetzt ist die Hälfte der im Raume $\varkappa$ vorhandenen lebendigen Kraftmenge, nämlich

$$\frac{nm\varkappa^2}{4},$$

zugleich die Strahlenmenge, welche während einer Secunde an jeder Wand eintrifft. Die an der einen Wand eintreffende Strahlenmenge, also auch der dadurch auf jene ausgeübte Druck, wird offenbar nicht geändert, wenn wir die andere Wand ganz wegnehmen, und anstatt der Strahlen, die sie reflectirte, eine gleiche Menge von weiterher einfallen lassen; es bedeutet dann

$$\frac{nm\varkappa^2}{4}$$

überhaupt die in einer Secunde auf die normal getroffene Flächeneinheit einfallende lebendige Kraftmenge, woher sie auch kommen möge. Nennen wir nun w die im gewöhnlichen Maße ausgedrückte Wärmemenge, welche die in einer Secunde an der Flächeneinheit normal eintreffende Strahlenmenge in einem sie vollständig aufnehmenden Körper erzeugt, und A das Arbeitsäquivalent der Wärmeeinheit, so ist auch

$$\frac{nm\varkappa^2}{4} = Aw$$

und somit erhalten wir für den Druck p, den die bezüglichen Strahlen auf die normal getroffene Flächeneinheit ausüben, also für die Intensität derselben, die Formel

$$p = \frac{2Aw}{\varkappa}.$$

Hieraus folgt, daß die Intensität der Sonnenstrahlen gleich ist dem doppelten Arbeitsäquivalente der in einer Secunde gelieferten Wärmemenge [1]) dividirt durch die Geschwindigkeit des Lichts.

Die gleiche Formel für die Intensität der Sonnenstrahlen wird sich in jeder anderen Hypothese ergeben müssen; denn was hier speciell aus der Emanationshypothese folgt, ist nur, daß die angreifende Kraft der Strahlen als ein in ihrer Richtung ausgeübter Druck wirkt.

Intensität der Sonnenstrahlen nach der Undulationshypothese; ihre bewegende Kraft ist ein Zug.

Nach der Undulationshypothese bewegt sich in der Richtung eines Sonnenstrahls nicht ein Stoff selbst fort, sondern es wird in dieser Richtung durch ein continuirliches Medium (Äther) ein demselben von der Sonne eingepflanzter Bewegungszustand von Schicht zu Schicht fortgetragen. Welcher Art dieser Zustand auch sei — die bloße Thatsache seines Fortschreitens in bestimmter Richtung beweist, daß derselbe in solcher Richtung hin das Gleichgewicht der dem Äther eigenen Elasticitätskräfte aufhebt; in unserm Falle aber steht überdies fest, daß die von der Störung successive er-

---

[1]) Das doppelte Äquivalent der einfallenden Wärmemenge in obiger Formel entspricht dem, daß die Intensität oder Dichte der Strahlen an einer reflectirenden Fläche durch das Zusammentreffen der einfallenden und der reflectirten Strahlen doppelt so groß ist, als die Intensität oder Dichte der einfallenden Strahlen allein. Nach Clausius erhielte man hier

$$p = \frac{4Aw}{\varkappa}.$$

griffenen, zur Fortpflanzungsrichtung normalen Ätherschichten transversal, sich relativ nur unendlich wenig verschiebend, an einander hin und her gleiten.

Jene longitudinale Aufhebung des Gleichgewichts der Elasticitätskräfte und diese transversale Bewegung bedingen sich wechselseitig und ihre Bedeutung ist für den betreffenden Vorgang gleich wesentlich.

Betrachten wir in zwei auf einander folgenden unendlich dünnen Schichten zwei correspondirende Punkte, d. h. solche, deren Verbindungslinie für den Ruhezustand zu den Schichten normal sei. Lassen wir die eine Schicht sich transversal ein wenig verschieben, so wächst die Distanz jener zwei Punkte; in ihrer Verbindungslinie, und ebenso in den parallelen Verbindungslinien je zweier correspondirenden Punkte beider Schichten überhaupt, hat also der Äther durch die eingetretene Bewegung einen ihn dehnenden Zug erlitten. Die Ausübung dieses Zuges ist eine durch die lebendige Kraft jener Bewegung geleistete Arbeit; es muß daher ein äquivalenter Theil derselben jetzt verschwunden, nämlich die anfängliche Geschwindigkeit der bewegten Schichte vermindert sein, und da alle Punkte einer unendlich dünnen Schicht, d. h. einer Wellenebene, immer die gleiche Bewegung besitzen, folglich dabei keinen andern Widerstand finden, als den der Ätherdehnung zwischen den relativ verschobenen Schichten entsprechenden Zug, so kann die verschwundene lebendige Kraft einer seitlichen Bewegung zunächst immer nur auf Erzeugung solcher Dehnung verbraucht worden sein; die hiermit erzwungene Dehnung aber ruft mit ihrer seitlichen Componente wieder eine transversal gleitende Bewegung der ergriffenen Nachbarschichte hervor, und so pflanzt sich von einer ursprünglich in ihrer Ebene bewegten Schicht aus, die entsprechende Störung der folgenden Schichten jedesmal in der Richtung der zunächst erzeugten Dehnung, folglich, indem diese während eines Hin- und Herganges der ursprünglich bewegten Schicht gleichmäßig um eine mittlere, zur Ebene derselben normale Richtung schwankt, im ganzen nach einer solchen Normale fort. Längs der Richtung der Fortpflanzung der ursprünglich erzeugten Bewegungen herrscht dann überall ein mit der transversalen Verschiebung der auf einander folgenden Schichten aus der gestörten Elasticität des Äthers verwachsender Zug, dessen Stärke mit der entsprechenden Phase zwischen Null und einem

gewissen Maximum wechselt, während dessen Richtung bei der anzunehmenden Kleinheit der Verschiebungen, von einer Normale zu den Schichten oder Wellenebenen immer nur unendlich wenig abweicht; und da man aus diesem Grunde denselben als in die Normalrichtung selbst fallend, d. h. als ganz in der Strahlenrichtung ausgeübt ansehen kann, stellt die so sich durchschnittlich ergebende longitudinale Zugkraft eines Strahles auch schon seine ganze (durch seine lebendigen Kräfte erzeugte) Anziehungskraft, d. h. seine Intensität vor. In der Undulationshypothese ist daher die Intensität der Sonnenstrahlen dem an der normal getroffenen Flächeneinheit durch die transversale Verschiebung der Ätherschichten longitudinal ausgeübten Zuge gleich[1]).

Um die Größe dieser bewegenden Kraft auszudrücken, sei in der Richtung eines Strahles, als Abscissenaxe, x der Abstand eines Ätherpunktes in seiner Ruhelage vom Anfange der Coordinaten, und y der Abstand desselben von der Ruhelage, senkrecht auf die Richtung des Strahles, für die Zeit t; dann hat man im einfachsten Falle die Gleichung

$$y = \alpha \sin \frac{2\pi(\varkappa t - x)}{\lambda},$$

wo α die Schwingungsweite, λ die Wellenlänge und $\varkappa$ die Fortpflanzungsgeschwindigkeit ist.

---

[1]) Man kann diesen Bewegungszustand des Äthers mit demjenigen eines transversal schwingenden gespannten Fadens vergleichen. Von seiner Ruhelage abweichend, ist derselbe um etwas verlängert, also auch stärker gespannt; er übt daher während seiner Hin- uud Hergänge einen durchschnittlich verstärkten Zug aus, dessen Mittelrichtung die gleiche ist, wie in der Ruhelage, und dieser Zuwachs an longitudinaler Zugkraft ist der durchschnittlichen lebendigen Kraft der transversalen Bewegung proportional. Ähnlich übt ein zwischen zwei Wänden fest geklemmter Stab, in transversale Vibrationen versetzt, einen schwächeren Druck auf jene aus, als im Zustand der Ruhe. Eine elastische, in transversale Wellenbewegung versetzbare Flüssigkeit würde auf eine in ihr schwebende Wand, welche auf einer Seite von solchen Wellen getroffen wäre, an dieser Seite einen stärkeren Zug (oder schwächeren Druck) ausüben als an der Gegenseite; die bewegliche Wand würde also dadurch eine sie den einfallenden Wellen entgegentreibende Kraft erfahren, und ihre wirkliche Fortbewegung müßte um so gewisser erfolgen, je größer die Elasticität der Flüssigkeit und je geringer deren Dichte wäre, d. h. je mehr die Flüssigkeit jene Eigenschaften besäße, die man im höchsten Grade dem Äther beilegen muß.

Betrachten wir nun zwei in ihren Ruhelagen in der Abscissenaxe um die unendlich kleine Größe dx von einander entfernte Ätherpunkte im Zustande der Bewegung und nennen wir ds ihre Distanz für die Zeit t, so ist

$$ds = \sqrt{dx^2 + dy^2} = dx\sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2};$$

die Distanz der beiden Punkte ist hiernach in der Bewegung stets größer als in der Ruhe, und das Verhältniß

$$\frac{ds - dx}{dx}$$

gibt die zwischen denselben eingetretene Dehnung oder Distraction des Äthers an. Aus der Gleichung für y folgt nun, wenn man sie nach x differentiirt:

$$\frac{dy}{dx} = -\frac{2\pi\alpha}{\lambda}\cos\frac{2\pi(\varkappa t - x)}{\lambda},$$

und die Differentiation derselben Gleichung nach t gibt für die Schwingungsgeschwindigkeit ω der betrachteten Punkte

$$\omega = \frac{dy}{dt} = \frac{2\pi\alpha\varkappa}{\lambda}\cos\frac{2\pi(\varkappa t - x)}{\lambda}.$$

Diese zwei Ausdrücke verbindend erhält man:

$$\frac{dy}{dx} = -\frac{\omega}{\varkappa},$$

woraus folgt:

$$ds = dx\sqrt{1 + \frac{\omega^2}{\varkappa^2}}$$

oder insofern die Schwingungsgeschwindigkeit ω gegen die Fortpflanzungsgeschwindigkeit $\varkappa$ immer nur sehr klein ist,

$$ds = \left(1 + \frac{\omega^2}{2\varkappa^2}\right)dx.$$

Demnach ist die zwischen den zwei betrachteten Punkten erzeugte Ätherdehnung

$$\frac{ds - dx}{dx} = \frac{\omega^2}{2\varkappa^2};$$

d. h. es herrscht nach der Richtung des Strahles in jeder transversal schwingenden Ätherschicht eine longitudinale Dehnung, welche dem Quadrate der entsprechenden Schwingungsgeschwindigkeit proportional ist.

Ist also γ^2 das mittlere Quadrat der Schwingungsgeschwindigkeit des Äthers in einem Strahle, so herrscht darin durchschnittlich eine longitudinale Dehnung

$$= \frac{\gamma^2}{2\varkappa^2};$$

bedeutet ferner H den Coëfficienten der dagegen reagirenden Elasticität des Äthers, auf die Flächeneinheit bezogen, so ist

$$\frac{H\gamma^2}{2\varkappa^2}$$

die jener mittleren Dehnung entsprechende longitudinale Zugkraft. An einer unbeweglichen Fläche aber, worauf wir diesen Strahl senkrecht einfallen lassen, ist durch das Zusammentreffen der reflectirten mit der einfallenden Welle die transversale Verschiebung und daher auch die longitudinale Dehnung verdoppelt; bezeichnen wir also die Kraft, welche der Strahl auf eine normale widerstehende Angriffsfläche $= 1$ ausüben würde, d. h. die Intensität desselben, mit i, so folgt

$$i = \frac{H\gamma^2}{\varkappa^2}.$$

Zwischen der Fortpflanzungsgeschwindigkeit $\varkappa$ und dem Elasticitätscoëfficienten H besteht aber die Beziehung

$$\varkappa = \sqrt{\frac{H}{\vartheta}},$$

wo ϑ die Dichte des Äthers, d. h. das Verhältniß einer Äthermasse zu ihrem Volumen, bedeutet. Mit dem hieraus folgendem Werthe von $H = \vartheta\varkappa^2$ erhalten wir:

$$i = \vartheta\gamma^2$$

als Ausdruck für die Intensität des betrachteten Strahls.

Geben wir dieser Gleichung die Form

$$i = \frac{\varkappa\vartheta\gamma^2}{\varkappa},$$

so bedeutet $\varkappa\vartheta$ die in einem prismatischen Volumen mit dem Querschnitte 1 und der Länge $\varkappa$ enthaltene Äthermasse, und folglich ist in unserem Falle, wo der ankommende Strahl für sich allein die mittlere Schwingungsgeschwindigkeit γ hat,

$$\frac{\varkappa\vartheta\gamma^2}{2}$$

die Summe lebendiger Kräfte, welche während einer Secunde auf eine Fläche = 1 normal einfällt; nennen wir also, wie früher, die durch einen Strahlenquerschnitt = 1 in einer Secunde einfallende Wärmemenge w und das Arbeitsäquivalent der Wärmeeinheit A, so haben wir

$$\frac{\varkappa\vartheta\gamma^2}{2} = Aw$$

und hiermit wird

$$i = \frac{2Aw}{\varkappa};$$

d. h. die Intensität transversaler Ätherwellen ist gleich dem doppelten Arbeitsäquivalente der in einer Secunde auf die Flächeneinheit gelieferten Wärmemenge dividirt durch die Geschwindigkeit ihrer Fortpflanzung [1]). Demnach haben wir in der Undulationshypothese genau denselben Ausdruck für die Intensität der Sonnenstrahlen, wie in der Emanationshypothese, nur mit dem Unterschiede, daß in letzterer die bewegende Kraft der Strahlen wie ein Druck, in ersterer aber, mit entgegengesetzter Richtung, wie ein Zug wirkt; mit anderen Worten: Die Sonne übt durch ihre Strahlen auf jeden getroffenen opaken Körper eine Anziehung

---

1) Hiermit erhält zugleich die in meiner Schrift „das Strahlungsvermögen der Atome" für die anziehende Kraft eines Wärmestrahles gegebene Formulirung ihre nöthige Berichtigung.

aus, welche der Abstoßung gleich ist, die sie nach der Emanationshypothese durch die von ihr ausgesendeten Stofftheilchen ausüben müßte.

Berechnung der Intensität oder Zugkraft der Sonnenstrahlen; Grössenverhältniss zwischen der thermischen und der Newton'schen Anziehung.

Bestimmungen der von der Sonne auf die Erde gesendeten Wärmemenge haben Pouillet, J. Herschel und Althans ausgeführt. Die erhaltenen Resultate stimmen hinreichend gut überein. Nach Althans[1]) würde die auf ein Quadratmeter des normal getroffenen Erdquerschnitts fallende Wärmemenge in einer Minute ein Kubikmeter Wasser um 0,037748° C. erwärmen; dies gibt für eine Secunde, das Kilogramm als Gewichtseinheit genommen, auf ein Quadratmeter Einfallsfläche

$$w = 0{,}6291 \text{ Wärmeeinheiten.}$$

Setzen wir als Arbeitsäquivalent der Wärmeeinheit

$$A = 433 \text{ Meter-Kilogramme}$$

und als Lichtgeschwindigkeit

$$\varkappa = 298000000 \text{ Meter,}$$

so ergibt sich die Intensität der Sonnenstrahlen an der Erde in absolutem Maße, auf ein Quadratmeter Angriffsfläche bezogen,

$$i = \frac{2 \times 433 \times 0{,}6291}{298000000} = \frac{1}{546000} \text{ Kilogramm.}$$

Diese Kraft also üben an der Erde die directen Sonnenstrahlen, unabhängig von irgend welcher Hypothese, in ihrer Richtung wirklich aus. Da dieselbe nach der Undulationshypothese als ein gegen die Sonne gerichteter Zug wirkt, so entfällt auf je 546000 Quadratmeter des Erdquerschnitts ein Zug von 1 Kilogramm, und folglich

[1]) Poggendorff's Annalen. Bd. 90, S. 544.

erfährt die Erde, ihren Querschnitt = 127767530 Millionen Quadratmeter gesetzt, durch die Sonnenstrahlen eine Anziehung

$$F = 234000000 \text{ Kilogramme.}$$

Zum Vergleich dieser (thermischen) Kraft der Sonne mit der weit größeren, von derselben als Masse ausgeübten Anziehung wollen wir die Kraft in Kilogrammen berechnen, womit die Erde wirklich gegen die Sonne hingezogen wird.

Das Volumen der Erde enthält:

$$1085 \times 10^{18} \text{ Kubikmeter;}$$

die mittlere Dichte der Erdmasse = 5.4 gesetzt, wiegt ein Kubikmeter derselben durchschnittlich 5400 Kilogramme und somit beträgt das Gewicht der ganzen Erdmasse, auf deren Oberfläche gewogen,

$$5859000 \times 10^{18} \text{ Kilogramme.}$$

Es verhält sich aber die anziehende Masse der Sonne zu jener der Erde wie 354000 : 1 und der Halbmesser der Erde zur Entfernung derselben von der Sonne wie 860 : 20000000; um aus dem obigen Gewichte der Erdmasse die Größe ihrer Anziehung zur Sonne hin zu erhalten, haben wir demnach dasselbe mit

$$\frac{354000 \times 860^2}{20000000^2}$$

zu multipliciren. Es folgt, wenn wir diese Newton'sche Anziehung der Erde zur Sonne G nennen,

$$G = 3835 \times 10^{18} \text{ Kilogramme}$$

und hiermit stellt sich das Verhältniß der beiden von der Sonne auf die Erde ausgeübten Anziehungskräfte

$$\begin{aligned} F : G &= 234 \times 10^6 : 3835 \times 10^{18} \\ &= 1 : 16400000 \text{ Millionen,} \end{aligned}$$

d. h. die Newton'sche Anziehung der Erde zur Sonne ist etwa 16 Billionen Mal größer als die von den Sonnenstrahlen an der Erde ausgeübte (thermische) Anziehung.

Ein ähnliches Verhältniß beider Kräfte, deren Intensitäten mit der Distanz von der Sonne nach dem gleichen Gesetze wechseln,

und von denen die eine der reflectirenden Oberfläche, die andere hingegen der Masse des afficirten Körpers proportional ist, käme bei jedem anderen der größeren Planeten heraus und es würde sich selbst bei den kleinsten derselben, von nahe drei Meilen Durchmesser, wenn man die Dichte jener der Erde gleich annimmt, nur auf etwa

$$1 : 27000 \text{ Millionen}$$

ermäßigen. Einen merklichen Einfluß auf die Bewegungen der Planeten kann also diese neben der Gravitation vorhandene Anziehungskraft der Sonne offenbar nicht haben.

Von hohem theoretischen Interesse aber ist es immerhin, daß die Anziehung der Planeten zur Sonne nicht eine Wirkung der Gravitationskraft allein, sondern zu einem gewissen Theile die Folge einer von der Sonne ausgehenden Wellenbewegung eines den Weltraum erfüllenden Stoffes ist[1]). Während also ein Planet in der einen Hälfte seiner elliptischen Bahn sich der Sonne nähert und seinen Lauf beschleunigt, wird ein gewisser Theil dieses Zuwachses an Geschwindigkeit durch die von der Sonne her auf ihn einfallenden Wärmewellen erzeugt — es wird eine gewisse Wärmemenge auf Vermehrung der Translationsgeschwindigkeit des Planeten verwendet; umgekehrt, wenn derselbe in der anderen Hälfte seiner Bahn sich von der Sonne entfernt und seinen Lauf verzögert, wird ein Theil der lebendigen Kraft seiner Fortbewegung wieder in Wärme zurückverwandelt, und es muß daher in so ferne, theoretisch betrachtet, die Temperatur eines Planeten während seines Hinganges zur Sonne im ganzen etwas niedriger sein als während seines Wegganges von derselben.

Aus der Größe der thermischen Anziehung der Erde und dem Unterschiede der Distanzen von der Sonne läßt sich die Wärmemenge, welche auf ihrem Wege vom Aphel zum Perihel auf Beschleunigung ihres Laufes verbraucht und bei der umgekehrten Bewegung durch Verzögerung wieder erzeugt wird, berechnen; sie beträgt,

---

[1]) Hätte die Gravitation einen ähnlichen Ursprung, so könnte die kleine bisher unerklärte Störung des Merkur eine Folge der Absorption sein, welche die Wirkung der hinteren Theile der Sonnenmasse in den vorderen auf dem Wege zum Planeten erführe.

den Unterschied zwischen der größten und kleinsten Distanz von der Sonne = 4970000 Kilometer genommen,

$234000000^{Kgr} \times 4970000000^{m} = 1163000$ Bill. Meter.-Kgr.
$= 2680$ Bill. Wärmeeinheiten,

was ein verschwindend kleiner Theil der während eines Halbjahres wirklich auf die Erde fallenden Wärmemenge und dessen Abgang oder Zuwachs ohne allen wahrnehmbaren Einfluß auf die Temperatur derselben ist.

Thermische Anziehung der Sonne auf sehr kleine kosmische Massen; Verkürzung der Umlaufszeit bei Kometen.

Die Größe der von der Sonne durch ihre Wärmestrahlen auf einen Planeten ausgeübten Anziehung ist unter sonst gleichen Umständen, wie schon erwähnt, proportional der auffangenden Oberfläche, hingegen die Größe der durch die Newton'sche Gravitation auf ihn ausgeübten Anziehung ist proportional der Masse desselben. Hieraus folgt, daß die thermische Centripetalgeschwindigkeit, d. h. jene Geschwindigkeit, welche die thermische Anziehung allein während eines bestimmten Zeittheilchens einem Planeten bei freiem Falle gegen die Sonne hin beibringen würde, im geraden Verhältnisse seiner Oberfläche O und im umgekehrten Verhältnisse seiner Masse M steht, also mit dem Quotienten $\frac{O}{M}$ proportional ist, während die gleichzeitige Newton'sche Centripetalgeschwindigkeit, wie die Fallgeschwindigkeit der Körper auf der Erdoberfläche, von der Größe und Beschaffenheit der angezogenen Masse gar nicht abhängt. Nun wird aber die Oberfläche im Vergleich mit der Masse, nämlich der Quotient $\frac{O}{M}$, im allgemeinen desto größer, je kleiner die Masse wird, und wenn wir ungleich große Kugeln von gleicher Dichte betrachten, wo die Oberfläche dem Quadrate, die Masse dem Kubus des Durchmessers proportional ist, so wird der Quotient $\frac{O}{M}$ in dem Verhältnisse größer, wie der Durchmesser kleiner wird. Die thermische Centripetalgeschwindigkeit einer von der Sonne angezogenen opaken Kugel wird also durch Verkleinerung ihrer Masse größer, wogegen dabei ihre Newton'sche Centripetalgeschwindigkeit con-

stant bleibt; somit wird die ganze Centripetalgeschwindigkeit durch Verkleinerung der Masse ebenfalls größer und bei schon sehr kleiner Masse müßte dieser Zuwachs auch für die Beobachtnng merklich sein. Ein um die Sonne laufender und allmählich an Masse abnehmender Körper würde, weil dadurch seine ganze Centripetalgeschwindigkeit im Verhältnisse zur Tangentialgeschwindigkeit zunähme, sich der Sonne immer mehr nähern, seine Umlaufszeit müßte immer kürzer werden, und zwar desto merklicher, je kleiner seine Masse bereits geworden wäre. Denken wir uns z. B. die Erde, deren Durchmesser 12740000 Meter beträgt, durch fortgesetzte Verminderung ihrer Masse bei gleichbleibender mittlerer Dichte auf eine kleine Kugel von 1 Meter Durchmesser reducirt, so würde sich das Verhältniß der thermischen zur Newton'schen Anziehung und folglich das Verhältniß der diesen Kräften entsprechenden Fallgeschwindigkeiten für dieselbe nach dem obigen stellen wie

$$12740000 : 16400000 \text{ Millionen} = 1 : 1280000;$$

d. h. die ganze Centripetalgeschwindigkeit der kleinen Kugel wäre wegen der thermischen Anziehung um $\frac{1}{1280000}$ ihrer Newton'schen Centripetalgeschwindigkeit größer als letztere allein, was somit für ihre Umlaufszeit denselben Erfolg, wie eine Vermehrung der Sonnenmasse um $\frac{1}{1280000}$ ihres Betrages für die Umlaufszeit der Erde selbst, haben würde. Eine solche Vergrößerung der Sonnenmasse hätte schon eine für die Astronomen merkliche Verkürzung der Jahreslänge zur Folge.

Nun bewegen sich wirklich um unsere Sonne nebst den Planeten auch Körper — die Kometen nämlich — von denen man mit einiger Wahrscheinlichkeit annehmen darf, es könne das Verhältniß der bezüglichen Oberfläche zur Masse oft sogar weit günstiger für die thermische Anziehung sein, als es etwa bei einer auf 1 Meter Durchmesser reducirten Erde wäre, und viele unter diesen Körpern scheinen jedesmal, wenn sie in ihren excentrischen Bahnen der Sonne sehr nahe kommen, einen Verlust an Stoff zu erleiden, in Folge dessen das Verhältniß zwischen Oberfläche und Masse mit

jedem Umlaufe für die thermische Anziehung noch günstiger werden muß; die Bedingungen also, unter denen nach unserer Hypothese eine merkliche fortschreitende Verkürzung der Umlaufszeit eintreten kann, sind vielleicht bei manchen Kometen vollkommen erfüllt. Man hätte dann diese Erscheinung vorzüglich bei sehr kleinen Kometen zu erwarten. Der Encke'sche Komet, bei dem eine fortschreitende Verkürzung der Umlaufszeit außer allem Zwaifel steht, ist in der That ein sehr schwacher; und daß er seit seiner Entdeckung allmählich schwächer oder stoffärmer geworden sei, wird neuestens von Astronomen behauptet. Vielleicht enthält derselbe einen sehr kleinen festen oder flüssigen Kern, auf dessen Sonnenseite sich in der Nähe des Perihels, wie es an den Kernen anderer Kometen deutlich wahrgenommen wurde, eine Art Dampf entwickelt, welcher, nachdem er emporgestiegen, um den Kern herum rückwärts abfließt und sich nach dieser Seite hin in dem Weltraum verliert; ein solcher Stoffverlust wird jedesmal das Verhältniß der Oberfläche zur Masse des Kernes, daher auch seine thermische Centripetalgeschwindigkeit größer machen, den Kometen also mehr der Sonne nähern und seine Umlaufszeit verkürzen, und wenn die Masse des Kernes ohnehin schon klein genug ist, kann die hieraus entspringende Beschleunigung des Laufes auch wirklich so bedeutend werden, wie bei dem Encke'schen Kometen, dessen Umlaufszeit von 1210 Tagen sich bei jeder Wiederkehr um $2^1/_2$ Stunden verkürzt zeigt [1]).

Dann muß aber zugleich wegen der merklichen Größe der thermischen Anziehung die Distanz des Kometen von der Sonne überhaupt etwas größer sein, als sie bei seiner Umlaufszeit nach dem Gravitationsgesetze allein sein sollte; und es wäre somit für die aufgestellte Hypothese entscheidend, wenn der größere Werth des Radiusvector bei dem Encke'schen Kometen sich aus den Beobachtungen nachweisen ließe.

---

[1]) In der Schrift „Das Strahlungsvermögen der Atome" habe ich die Verkürzung der Umlaufszeit bei Kometen auf eine von der obigen abweichende Weise aus der thermischen Anziehung der Sonne erklärt; es können möglicher Weise beide Erklärungsarten auch neben einander Anwendung finden.

Schlussbemerkungen.

Wir fanden vorhin, daß für einen auf 1 Meter Durchmesser reducirten Erdkörper von gleichgebliebener Dichte die thermische und die Newton'sche Anziehungskraft der Sonne sich verhalten würden wie

$$1 : 1280000.$$

Denken wir uns jetzt auch noch den Sonnenkörper, dessen Durchmesser = 1410 Millionen Meter ist, bei gleichbleibender Dichte auf 1 Meter Durchmesser reducirt, so würden jene beiden Kräfte sich verhalten wie 1410 Millionen zu 1280000

$$= 1100 : 1;$$

d. h. diese Sonne würde auf jene Erde durch ihre Strahlen eine 1100mal stärkere Anziehung ausüben als durch ihre Masse. Es folgt daraus, daß zwischen kosmischen Körpern von hinreichender Kleinheit überhaupt bereits jene Anziehung, die sie durch ihre strahlenden Oberflächen auf einander ausüben, zu einer ihre gegenseitige Gravitation überwiegenden Kraft wird. Das gleiche gilt natürlich von den Körpcn auf der Oberfläche der Erde.

Die Körper bestehen aus Atomen von solcher Kleinheit, daß die Oberfläche im Verhältniß zur Masse für dieselben ungeheuer groß sein muß. Es ist also die von einem warmen Körper durch seine Strahlung auf dafür opake Atome in seiner Umgebung ausgeübte Anziehung ebenfalls ungeheuer groß im Vergleich mit der Anziehung, die er durch seine Masse auf dieselben ausübt.

Endlich folgt, daß die Atome jedes warmen Körpers selbst gegenseitig durch die von ihnen ausgehenden Wärmestrahlen Anziehungskräfte ins Spiel setzen, welche im Vergleich mit ihren gegenseitigen Massenanziehungen von enormer Größe sind, aber zugleich, indem die von einem inneren Atome ausgehenden Strahlen an jedem der unzähligen getroffenen Atome eine Schwächung erfahren, sich nur auf eine gewisse kleine Distanz vom jedesmaligen Ausgangsorte

erstrecken [1]). Wir haben daher an der Wärme das Beispiel einer von den Körperatomen ausgehenden, im freien Weltraume fernwirkenden, im Innern der Körper aber auf eine sehr kleine Wirkungssphäre beschränkten bewegenden Kraft, deren Wesen, Ursprung und Angriffsweise uns verständlich geworden sind.

---

[1]) Welche Rolle diese Anziehungskraft der Atome in den Körpern spielt, ist in der oben erwähnten Schrift auseinander zu setzen versucht.